

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ตัวแปรในงานสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย

ธนิต จินดาวณิก(2540) ได้กล่าวถึงตัวแปรในงานสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย และสภาพภายในอาคารมีดังนี้

##### 1) Microclimate

สภาพอากาศของประเทศไทยโดยรวมมีลักษณะร้อนชื้นและไม่อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายแต่ Microclimate รอบอาคารสามารถถูกปรับเปลี่ยนได้ Microclimate เป็นตัวแปรแรกที่ทำให้อุณหภูมิอากาศรอบอาคารนั้นร้อน หรือ เย็นกว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกทั่วไปสืบเนื่องจากองค์ประกอบทางภูมิสถาปัตยกรรม ในทางทฤษฎี องค์ประกอบที่มีผลต่อ Microclimate ประกอบด้วยรูปทรงแผ่นดิน ต้นไม้ แหล่งน้ำ และสิ่งก่อสร้างต่างๆที่มนุษย์สร้างขึ้น จากตัวอย่างที่พบองค์ประกอบที่มีผลต่อภูมิอากาศของ microclimate ในภูมิประเทศที่แบนราบ ได้แก่ ต้นไม้ใหญ่ ต้นไม้พุ่ม พืชคลุมดิน บ่อน้ำ และ พื้นผิวแข็ง

ต้นไม้ใหญ่ ต้นไม้พุ่ม พืชคลุมดิน และบ่อน้ำ สามารถร่วมกันทำให้เกิดสภาพอากาศเย็นรอบอาคารได้การบังแสงแดดของต้นไม้ใหญ่ การคายน้ำของพืช และการระเหยน้ำจากบ่อน้ำช่วยทำให้อากาศเย็นลงได้ นอกจากนี้ กิ่งก้านใบไม้ของต้นไม้ใหญ่ ต้นไม้พุ่ม และสิ่งก่อสร้างข้างเคียง เช่น รั้ว อาคาร ยังทำหน้าที่ห่อหุ้มปริมาตรอากาศที่เย็นไว้ ไม่ให้ลมร้อนจากข้างนอกพัดเข้ามาโดยตรงในปริมาตรนี้

ในช่วงกลางวันที่อากาศร้อนจัด สภาพอุณหภูมิอากาศของ Microclimate ที่ดีนั้นจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไปได้ถึง 3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศใต้พืชคลุมดินต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากการคายน้ำของพืช ในระหว่างช่วงกลางวันและกลางคืนอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของ microclimate สามารถต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกทั่วไป 1.5 และ 0.8 องศาเซลเซียสตามลำดับ

การนำอากาศเย็นจาก Microclimate เข้าไปภายในอาคาร ก็จะทำให้สภาพภายในนั้นเย็นกว่าอากาศภายนอกทั่วไป นอกเหนือจากนี้ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ และอากาศเย็นรอบอาคารช่วยลดอิทธิพลความร้อนจากอากาศและแสงแดดด้วย ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารถูกทำให้ลดลงก่อนคอนกรีตและถนนคอนกรีตรอบอาคารมีผลต่อสภาพ

อุณหภูมิของ microclimate และสภาพภายในอาคาร รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังพื้นผิวแข็ง เช่น คอนกรีต สามารถทำให้อุณหภูมิพื้นผิวสูงขึ้นถึง 55 องศาเซลเซียสได้ จากผลดังกล่าวทำให้ MRT ของบริเวณนั้นสูงและอากาศร้อนกว่าปกติอาจเกิดขึ้นได้ถ้าพื้นผิวแข็งมีพื้นที่มากพอ นอกจากนั้น พื้นผิวแข็งที่สีอ่อนยังจะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์เข้าอาคารด้วย ดังนั้นในสภาวะดังกล่าว สภาพแวดล้อมรอบอาคารจึงเย็น หรือร้อนกว่าสภาพอากาศภายนอกทั่วไป อากาศร้อนกว่ารอบอาคารจะถูกแรงลมภายนอกพัดพาเข้าไปในอาคารทำให้สภาพอากาศภายในอาคารยิ่งแย่ลง

## 2) MRT และรังสีดวงอาทิตย์

อุณหภูมิพื้นผิวมีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว ถ้าพื้นผิวของห้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (32 องศาเซลเซียส) พื้นผิวนั้นๆ จะแผ่รังสีความร้อนมาที่ตัวเรา ทำให้ร่างกายได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวนั้นกระทำโดยใช้ค่า Mean Radiant Temperature (MRT) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของทุกพื้นผิว โดยรอบคุณด้วยมุมกระทำ (Solid Angle) ของขอบพื้นผิวนั้นๆ ณ จุดที่ทำการวัด

อากาศสามารถพัดผ่านช่องเปิดอาคาร และทำให้อุณหภูมิผิวภายในอาคารเปลี่ยนไป เนื่องจากอุณหภูมิอากาศที่แปรเปลี่ยนในช่วงกลางวันและกลางคืน ดังนั้นอาคารที่ให้ระบบธรรมชาติจะใช้สมมติฐานในการประเมินเปรียบเทียบค่า MRT เท่ากับอุณหภูมิอากาศภายนอก ถ้าอุณหภูมิผิวในห้องหรือ MRT เท่ากับอุณหภูมิอากาศก็นับได้ว่าเป็นสภาพที่ปกติ แต่ถ้า อุณหภูมิพื้นผิว หรือ MRT ต่ำกว่า หรือ สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก จะถือได้ว่าเป็นสภาพที่ดีกว่า หรือ แย่กว่าตามลำดับ

จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวภายในอาคารหรือ MRT สามารถเท่ากับหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ และสามารถต่ำกว่าหรือสูงกว่าอุณหภูมิอากาศได้ ปรากฏการณ์นี้มีผลมาจากรังสีดวงอาทิตย์และคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนของระบบผนังและหลังคา

เมื่อวัสดุที่ใช้ทำผนังและหลังคาถูกแสงแดดอุณหภูมิที่พื้นผิวนั้นๆสามารถขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิอากาศได้ถึง 33 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมวลสาร สี พื้นผิว ทิศทาง และมุมแดดที่ตกกระทบ ยิ่งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวผนังและหลังคาภายนอกและภายในอาคารมีมากเท่าไร ความร้อนก็ยิ่งถ่ายเทเข้ามาในอาคารมากยิ่งขึ้น และอุณหภูมิผิวภายในอาคารจะยิ่งสูงขึ้นด้วย ความร้อนที่เข้ามาในอาคารทำให้พื้นผิวภายในและอากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิสูง ปรากฏการณ์นี้ทำให้สภาพภายในอาคารไม่สามารถที่จะทนอาศัยอยู่ได้ และมีสภาพที่แย่กว่า

สภาพภายนอกอาคาร สภาพเหล่านี้สามารถพบได้ในอาคารบ้านพักอาศัยทั่วไปในประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าผนังส่วนบนที่อยู่ใต้ร่มเงาอย่างสมบูรณ์ และผนังส่วนล่างที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจายและแสงแดดในยามเย็น แผนภูมิของอุณหภูมิผนังส่วนล่างที่กระโดดขึ้นแสดงถึงแสงแดดโดยตรงที่เริ่มกระทบผนัง รูปทรงของหลังคาเรือนไทยที่มีความลาดชันที่สูงมากช่วยลดมุมกระทำ (Solid Angle) จากหลังคาที่อุ่มขึ้นหนึ่งของหลังคาด้านที่ปะทะดวงอาทิตย์จะร้อน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ในขณะที่ยีกด้านหนึ่งจะมีผลกระทบที่น้อยกว่า ดังนั้นเพียงครึ่งหนึ่งของเพดานที่มีพื้นที่ผิวที่อุ่ม ขอให้สังเกตว่าหลังคาเรือนไทยที่กล่าวถึงนี้ปราศจากฝ้าเพดานระนาบราบ ผลกระทบ MRT จากเพดานที่อุ่มของเรือนไทยจะน้อยกว่าผลที่เกิดขึ้นกับเพดานหลังคาอาคารพักอาศัยสมัยใหม่ที่มีเพดานระนาบราบ และมีระบบป้องกันการถ่ายเทความร้อนของระบบหลังคาที่ไม่ดี และไม่มีประสิทธิภาพ

### 3) มวลสารอาคาร

อาคารที่มีมวลสารมากๆจะมีผลกระทบต่อ MRT และอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เนื่องจากความจุความร้อนของมวลสาร ในการที่จะทำให้อุณหภูมิมวลสารสูงขึ้นต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก สถาปัตยกรรมไทยที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัยที่ได้ทำการศึกษา เช่น โบสถ์และโรงเรียนอาคารทั้งสองมีผนังอิฐที่หนา 0.80 - 1.00 เมตร และที่พื้นก็มีมวลสารมากเช่นกัน ผนังอิฐที่หนามากก็จะมีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงด้วย ดังนั้นค่า MRT และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารดังกล่าวในช่วงเวลากลางวันจะต่ำกว่าหรือเย็นกว่าอากาศภายนอก แต่ทั้งนี้อากาศมีความจุความร้อนจำเพาะน้อยกว่ามวลสารอาคารมาก ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศจะลดต่ำลงได้เร็วกว่ามวลอาคาร และพลังงานความร้อนที่สะสมในมวลสารอาคารระหว่างช่วงเวลากลางวันจะคายเข้ามาในอาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในร้อนกว่าภายนอก อาคารดังกล่าวจะมีสภาพภายในอาคารที่เย็นกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนภายในจะร้อนกว่าภายนอกอาคาร เป็นที่สังเกตได้ว่าอาคารที่ยกตัวอย่างดังกล่าว จะมีช่วงเวลากการใช้งานเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น

อีกประเด็นหนึ่งของมวลสารก็คือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในอาคารจะเกิดขึ้นหลังจากอุณหภูมิอากาศภายนอกขึ้นสูงสุด ระยะเวลาของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนขึ้นอยู่กับปริมาณมวลสารอาคาร ในอาคารที่มีมวลสารมากเวลาของการหน่วงความร้อนก็จะยาวนานตามไปด้วย

#### 4) แหล่งความเย็นจากพื้นดิน

พื้นดินมีผลต่อการขึ้นลงของอุณหภูมิ MRT และสภาวะน่าสบายกับอาคารที่สัมผัสพื้นดิน ตามทฤษฎีอุณหภูมิพื้นดินที่ลึกมากๆ ตลอดทั้งปีจะมีค่าคงที่และเท่ากับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้งปี ส่วนอุณหภูมิพื้นดินที่ตื้นขึ้นมาจะแปรเปลี่ยนเล็กน้อยขึ้นกับฤดูกาลและสภาพพื้นผิวและสิ่งปกคลุมพื้นดิน อุณหภูมิพื้นดินนั้นจะค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศซึ่งขึ้นลงในช่วงกลางวันและกลางคืน ทั้งนี้เนื่องจากดินมีปริมาณความจุความร้อนอันมหาศาล จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิพื้นดิน ในกรุงเทพฯ จะมีค่าระหว่าง 24.5 ถึง 26.5 องศาเซลเซียสขึ้นกับสภาพแวดล้อมและแปรผันไม่มากกว่า 0.6 องศาเซลเซียสภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิอากาศสามารถแปรผันมากถึง 10 องศาเซลเซียสในวันหนึ่งระหว่างกลางวันอุณหภูมิพื้นดินต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ และต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังของร่างกายคนเรา พื้นดินจึงเป็นเสมือนแหล่งความเย็น พื้นดินมีผลต่อปัจจัยสภาวะน่าสบายสองปัจจัยคือ อุณหภูมิอากาศ และ MRT พื้นอาคารที่สัมผัสพื้นดิน และมีวัสดุที่นำความร้อนดีจะทำหน้าที่ดูดซับความร้อนภายในอาคาร ทำให้ MRT และอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในอาคารจึงเย็นกว่าภายนอก ผู้อยู่อาศัยสูญเสียความร้อนจากร่างกาย โดยการนำและการแผ่รังสีไปยังพื้นที่เย็นกว่าของอาคาร

#### 5) ลมและการระบายอากาศ

ปัจจัยความเร็วลมสัมพันธ์กับเขตสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort Zone) ถ้าอุณหภูมิอากาศอยู่เหนือนอกเขตสภาวะน่าสบาย ความเร็วลมสามารถทำให้สภาพอากาศนั้นกลับเป็นสภาวะที่น่าสบายได้ กระแสลมที่พัดผ่านผิวหนัง จะทำให้อัตราการสูญเสียความร้อนจากการระเหยของเหงื่อสูงขึ้นทำให้ร่างกายรู้สึกเย็น องค์ประกอบที่ส่งเสริมให้เกิดความเร็วลมในอาคารอันเนื่องจากแรงลมภายนอก ได้แก่ ความเร็วลมภายนอก ทิศทางลม องค์ประกอบในที่ตั้งรอบๆ อาคาร ทิศทางของอาคาร รูปทรงอาคาร ช่องเปิดอาคาร และการจัดภายในอาคาร

บางอาคารที่ได้ศึกษามานี้บ้างก็พบว่าเกือบจะไม่มีกระแสลมภายในอาคารเลย แต่อาคารเหล่านั้นมีสภาพอากาศภายในที่เย็นกว่าภายนอก อาคารที่มี Microclimate และแหล่งดูดซับความร้อนต้องการ การระบายอากาศเพียงเล็กน้อย เพื่อสุขลักษณะที่ดี อากาศเย็นจาก Microclimate และอิทธิพลของแหล่งดูดซับความร้อน ช่วยทำให้สภาพภายในอาคารเย็นกว่าภายนอก แต่ถ้าลมร้อนภายนอกในช่วงกลางวันพัดผ่านเข้ามาในที่ตั้งและอาคารปริมาณ การทำความเย็นจาก Microclimate และแหล่งดูดซับความร้อนอาจไม่ได้ผล (สุนทร บุญญธิการ, 2536)

## 2.2 สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย

ธนิต จินดาวณิก(2543) ได้กล่าวไว้ว่า การทำความเข้าใจกับลักษณะภูมิอากาศนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบอาคาร ให้เหมาะสมกับที่ตั้งเพื่อการประหยัดพลังงาน

การอธิบายจะใช้รูปแบบเปรียบเทียบกับภูมิอากาศที่เหมือนกันนั่นก็คือ ภูมิอากาศร้อนแห้ง เพื่อแสดงให้เห็นอิทธิพลที่ก่อให้เกิดความแตกต่างทางสถาปัตยกรรม

ในภูมิอากาศร้อนชื้นไอน้ำในอากาศที่อยู่ในรูปของความชื้นในอากาศ และในรูปของเมฆทำให้สภาพอากาศของเขตร้อนมีความแตกต่างกันออกไป ดังเช่น ร้อนแห้งและร้อนชื้น ความชื้นมีผลกระทบต่อรังสีดวงอาทิตย์ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในช่วงกลางวันและกลางคืน (Diurnal Temperature) การระเหยของน้ำและเหงื่อ สภาพผิวดิน พืชพรรณ และความสบายตา (Visual Comfort) อิทธิพลจากความชื้นเหล่านี้ทำให้รูปแบบสถาปัตยกรรมนั้นแตกต่างกันด้วย

ในภูมิอากาศร้อนความชื้นที่อยู่ในรูปของเมฆทำให้เขตร้อนชื้นในช่วงกลางวันไม่ร้อนจัดดังเช่นเขตร้อนแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากเมฆนั้นช่วยลดระดับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังพื้นดิน ต่างกับเขตร้อนแห้งที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆทำให้อากาศร้อนจัด รังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดส่องลงมาที่พื้นโลก ทำให้อุณหภูมิในช่วงกลางวันสูงหรือร้อนจัด แต่ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางคืนกลุ่มเมฆจะเป็นตัวสกัดกั้นการแผ่รังสีความร้อนจากผิวโลกกลับไปสู่ท้องฟ้า ดังนั้นอุณหภูมิอากาศในช่วงกลางคืนของภูมิอากาศเขตร้อนชื้นจึงไม่ลดลงต่ำดังเช่นในภูมิอากาศร้อนแห้ง ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในช่วงกลางวันและกลางคืน ในภูมิอากาศร้อนแห้งกลางคืนจะหนาวเย็นส่วนกลางวันจะร้อนจัด แต่ภูมิอากาศร้อนชื้นกลางคืนจะอุ่นหรือเย็นส่วนกลางวันจะร้อน จะเห็นได้ว่าลักษณะทางสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นในเขตร้อนแห้งจะใช้ผนังที่หนาหนักเพื่อต้านทาน และหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากอากาศและแสงแดด ไม่ให้ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร ในช่วงกลางคืนตัวผนังที่หนาหนักจะสะสมความร้อนในช่วงกลางวัน และคายความร้อนออกมาในอาคารในช่วงกลางคืนเพื่อทำความอบอุ่นให้กับอาคาร ต่างกับสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นเขตร้อนชื้นที่มีลักษณะโปร่งเบา มีการป้องกันความร้อนจากแสงแดดไม่ให้ถูกผนังและเข้ามาในอาคาร หลีกเลี่ยงการสะสมความร้อนในตัวอาคารหรือมวลสารทั้งนี้เนื่องจากอากาศในช่วงกลางคืนไม่เย็นหรือหนาวเย็น ถ้ามีการสะสมความร้อนในตัวอาคารหรือมวลสารอาคารเช่น ผนังและพื้น จะทำให้สภาพภายในอาคารในเวลากลางคืนนั้นอุ่นเกินไปหรือร้อนกว่าภายนอกทำให้ผู้อยู่ไม่สบาย

นอกเหนือจากอิทธิพลของเมฆที่มีอิทธิพลทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงกลางวัน และกลางคืนต่ำ แล้วเมฆยังทำหน้าที่กระจายรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมาในช่วงกลางวันด้วย เมื่อ รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมาถูกละของไอน้ำ จะเกิดการหักเหกระจาย หรือที่เรียกว่า Diffuse Radiation ออกไปในทิศทางต่างๆ ซึ่งรังสีชนิดนี้ยากต่อการควบคุมไม่ให้เข้ามาในอาคาร ต่างกับ รังสีดวงอาทิตย์โดยตรง เพียงแค่มีส่วนยื่นอาคารหรือแผงกันแดดก็สามารถป้องกันได้แล้ว แต่ Diffuse Radiation เข้ามาได้ทุกทิศทาง ดังนั้นอาคารให้ภูมิอากาศแบบร้อนชื้น นอกจากจะต้อง ป้องกันรังสีโดยตรงแล้วยังต้องป้องกันรังสีกระจายด้วย มิฉะนั้นแล้วจะทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคาร รู้สึกร้อน นอกจากนั้นแสงสะท้อนจากเมฆก่อให้เกิดความจ้า (Glare) ซึ่งมองแล้วไม่สบายตา

นอกเหนือจากอิทธิพลของไอน้ำในรูปเมฆแล้วความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โดยทั่วไปของ สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นที่สูงนั้น ทำให้การสูญเสียความร้อนจากร่างกายด้วยการระเหยของเหงื่อ เป็นไปได้ช้าทำให้เรารู้สึกตัวเหนียวไม่สบาย ในสภาพอากาศร้อนการคงความสมดุลของความร้อน ในร่างกายคนเราจะพึ่งการระเหยของเหงื่อเป็นหลัก การสูญเสียความร้อนจากร่างกายด้วยวิธีการ แผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนมีอัตราที่ต่ำมาก อากาศที่ชื้นจะทำให้อัตราการระเหยของ เหงื่อไม่มาก และถ้าชื้นอากาศรอบผิวหนังคนเราไม่มีการถ่ายเทเคลื่อนไหว ไอน้ำจากการระเหย ของเหงื่อจะทำให้ชั้นอากาศรอบผิวหนังนั้นเกิดการอิ่มตัวของไอน้ำ (Saturation) เหงื่อจะระเหย ไม่ได้อีกทำให้ร่างกายไม่สามารถขับความร้อนออกมาได้ ก็ยิ่งทำให้รู้สึกร้อนขึ้นไปอีก ดังนั้นการ เคลื่อนไหวถ่ายเทอากาศบริเวณผิวหนังเราในอากาศร้อนชื้นเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อช่วยในการทำความ เย็นให้กับร่างกาย โดยอาศัยอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าพัดมาแทนที่ชั้นอากาศที่รับไอน้ำ จากการระเหยของเหงื่อ จึงทำให้กระบวนการสูญเสียความร้อนของร่างกายดำเนินต่อเนื่องไปได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผู้อยู่อาศัยในเขตร้อนชื้นรู้สึกสบายได้ ก็คือการที่มีลมพัดผ่านพื้นที่ ผิวหนังส่วนใหญ่ของผู้อยู่อาศัย

## 2.3 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ตรึงใจ บุรณสมภพ(2539) กล่าวว่า โดยทั่วไป การถ่ายเทความร้อนจากภายนอก สามารถเข้าสู่อาคารได้ 3 แบบ คือ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation)

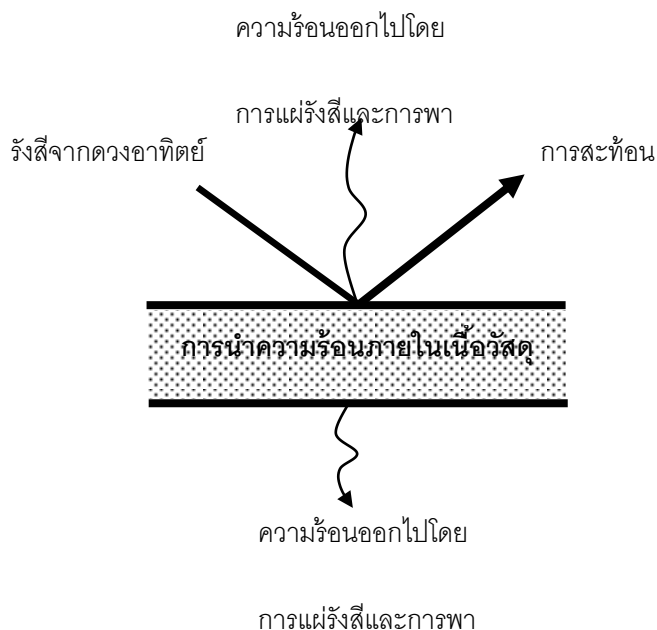
2.3.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ(Heat Transfer by Conduction) เป็นการถ่ายเทจากโมเลกุลสู่โมเลกุล หรือการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลางหรือมวลวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนขึ้นกับสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุ วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีค่าสภาพนำความร้อนสูง เช่น หิน ,โลหะ และคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนต้องมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ เช่น โยแก้ว ฉนวนกันความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้การนำความร้อนยังขึ้นกับสภาพความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุและความแตกต่างของอุณหภูมิของผิวทั้ง 2 ด้านของวัสดุที่ความร้อนถ่ายเท

2.3.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา(Heat Transfer by Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศเป็นสื่อกลาง เช่น ภายในอาคาร ความร้อนจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำ (Convection) จากนั้นผิวผนังด้านในจะร้อนขึ้น ทำให้อากาศรอบๆกำแพงด้านในร้อนขึ้น อากาศที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ก็จะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายในห้องที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะหมุนเวียนไปแทนที่ เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบพา

2.3.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Heat Transfer by Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านอากาศหรือสุญญากาศ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทผ่านสุญญากาศลงมายังโลก เป็นต้น อาคารต่างๆจะได้รับความร้อนทั้งจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และจากรังสีความร้อนคลื่นยาวที่แผ่มาจากวัตถุ หรืออาคารอื่นรอบๆ

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์(Solar Radiation) กระทบผิววัตถุที่บดแสง บางส่วนจะถูกดูดกลืนและสะท้อนบางส่วนออกมา ส่วนที่ถูกดูดกลืน จะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมโดยการแผ่รังสี การพาความร้อนและการถ่ายเทเข้าไปภายในตัวของมันเองโดยการนำ ความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับแสงอาทิตย์

การดูดกลืนรังสีของวัสดุขึ้นคุณสมบัติของผิววัสดุในการดูดกลืนรังสี หรือเรียกกันทั่วไปว่า สภาพการดูดกลืน(Absorptivity) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-1 วัสดุที่ดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบผิวได้ทั้งหมด จะมีสภาพดูดกลืนเท่ากับ 1 วัสดุโดยทั่วไปจะไม่สามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้ทั้งหมด แต่จะมีบางส่วนที่สะท้อนออกไป ความสามารถในการสะท้อนรังสีนี้เรียกว่า สภาพสะท้อน (Reflectivity) วัสดุที่สะท้อนรังสีที่ตกกระทบผิวได้ทั้งหมด จะมีสภาพในสภาพสะท้อนเท่ากับ 1

วัสดุโดยทั่วไปจะมีการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีสเปกตรัม(Spectrum) และความเข้มขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความสามารถในการแผ่รังสีของวัสดุจะบอกในรูปของสภาพเปล่งรังสี(Emissivity) ค่าของสภาพเปล่งรังสีของวัสดุธรรมชาติจะเทียบกับสภาพเปล่งรังสีของวัสดุสีดำ (Black Body) ซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้ทั้งหมด และจะแผ่รังสีออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆตามอุณหภูมิ โดยจะกำหนดให้วัสดุสีดำมีสภาพเปล่งรังสีเท่ากับ 1 หรือ 100% วัสดุอย่างอื่นจะมีค่าสภาพเปล่งรังสีน้อยกว่าของวัสดุสีดำที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยทั่วไปวัสดุที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม(Ambient Temperature) จะแผ่รังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อน

โลหะที่มีผิวมันจะสะท้อนรังสีส่วนมากที่ตกกระทบและดูดกลืนไว้เพียงเล็กน้อย ถึงแม้ว่าอลูมิเนียมจะมีความสามารถในการสะท้อนสูง แต่ภายในเนื้ออลูมิเนียมก็จะเก็บความร้อนไว้ได้สูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นการใช้อลูมิเนียมหลังคาเพื่อลดความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารจึงไม่มีผลดีไป

กว่าการใช้วัสดุที่เป็นฉนวนซึ่งหาสีขาว แต่การใช้กระดาษซึ่งฉาบด้วยอลูมิเนียมบางๆเป็นตัวป้องกันความร้อนที่ฝ้าเพดานจะได้ผลดีเพราะมีมวลของอลูมิเนียมน้อยมากจึงทำหน้าที่สะท้อนความร้อนออกไปได้เต็มที่

วัสดุก่อสร้างในส่วนที่เป็นหลังคา ผนัง ฝ้า และกระจกที่ใช้กันทั่วไป มีคุณสมบัติที่ยอมให้ความร้อนผ่านเข้าสู่อาคารในปริมาณต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ทิศทางอาคาร การรับแดด หรืออยู่ในที่ร่ม คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่ใช้ สีและลักษณะผิวของวัสดุ รวมถึงมวลและความหนาของผนัง

การเปรียบเทียบค่าสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบค่าสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุชนิดต่างๆ

| วัสดุ              | ค่า $k$ = วัตต์/เมตร องศาเซลเซียส |
|--------------------|-----------------------------------|
| โฟมฉีด             | 0.023                             |
| โฟมแผ่น            | 0.031                             |
| ฉนวนใยแก้ว         | 0.035                             |
| แผ่นยิปซั่ม        | 0.191                             |
| กระเบื้องแผ่นเรียบ | 0.288                             |

และค่าสภาพเปล่งความร้อนของผิววัสดุชนิดต่างๆ (Emissivity of some Typical Surface) แสดงดังในตารางที่ 2.2 และสำหรับค่าสภาพสะท้อนรังสีตามความเข้มของสีของผิววัสดุต่างๆ (Reflectivity of Materials) แสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสภาพเปล่งความร้อนของผิววัสดุชนิดต่างๆ (Emissivity of some Typical Surface)

| ผิววัสดุ            | เปอร์เซ็นต์การเปล่งรังสีความร้อน |
|---------------------|----------------------------------|
| เงินขัดมัน          | 2                                |
| ทองขาวขัดมัน        | 5                                |
| สังกะสีขัดมัน       | 5                                |
| อลูมิเนียมขัดมัน    | 8                                |
| นิกเกิลขัด          | 12                               |
| ทองแดงขัด           | 15                               |
| เหล็กหล่อขัด        | 25                               |
| อลูมิเนียมทาสี      | 55                               |
| ทองเหลืองขัด        | 60                               |
| ทองแดงอัลลอยด์      | 60                               |
| เหล็กอัลลอยด์       | 70                               |
| บรอนซ์ทาสี          | 80                               |
| สีดำเคลือบมันวาว    | 90                               |
| แล็คเกอร์ขาว        | 95                               |
| ผิวเคลือบแก้วใส     | 95                               |
| กระเบื้องกระดาศ     | 95                               |
| สีทา เขียว          | 95                               |
| สีทา เทา            | 95                               |
| น้ำ                 | 95                               |
| อิฐ(ผิวหยาบ)        | 93                               |
| อิฐ(เนื้อแน่น)      | 90                               |
| กระเบื้องเคลือบ     | 92                               |
| ไม้                 | 95                               |
| หินปูน              | 95                               |
| แอสเบสตอสซีเมนต์    | 95                               |
| แผ่นอลูมิเนียม      | 12                               |
| กระดาศฉาบอลูมิเนียม | 20                               |
| เหล็กเคลือบสังกะสี  | 25                               |

ตารางที่ 2.3 ค่าสภาพสะท้อนรังสีตามความเข้มของสีของผิววัสดุต่างๆ(Reflectivity of Materials)

| สี                 | วัสดุ                     | การสะท้อน(%Total incident Heat Reflected) |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| ขาว                | อลูมิเนียมพอยล์           | 95                                        |
|                    | ปูนปลาสเตอร์              | 93                                        |
|                    | แผ่นอลูมิเนียมสมัยใหม่    | 87                                        |
|                    | กระดาษแข็ง                | 64-70                                     |
|                    | แอสเบสตอสซีเมนต์          | 58                                        |
|                    | อลูมิเนียม                | 46                                        |
| เหลือง เนื้อ(อ่อน) | อิฐ                       | 48                                        |
| เหลือง เนื้อ(แก่)  | อิฐ                       | 40                                        |
| สีทราย             | หินทราย                   | 31                                        |
| แดง                | กระเบื้องดินเผา           | 38                                        |
|                    | แอสเบสตอสซีเมนต์          | 31                                        |
| แดงเข้ม(เลือดหมู)  | อิฐ                       | 30                                        |
|                    | แผ่นเหล็ก                 | 19                                        |
| ครีม               | อิฐ                       | 64                                        |
| ฟ้า                | อิฐ(Stafford)             | 11                                        |
| เขียว              | เหล็ก                     | 24                                        |
| เขียว              | หินอ่อน                   | 34                                        |
|                    | ต้นไม้                    | 25                                        |
| เขียวแก่           | หญ้า                      | 6                                         |
| น้ำตาล             | กระเบื้องคอนกรีต          | 15                                        |
| เทาอ่อน            | หินชนวน                   | 21                                        |
| เทาแก่             | หินชนวนขัดผิวเรียบ        | 11                                        |
| ดำ                 | แอสฟัลต์ น้ำมันดินและกรวด | 7                                         |

การสะท้อนจากการทาสีต่างๆ(Effect of Color) สีอ่อนจะทำให้รังสีความร้อนสะท้อนออกไปได้มาก ซึ่งจะลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารได้ดี สีผิวของวัสดุแม้จะเป็นสีทาก็ตามมีความสำคัญในการสะท้อนความร้อนมาก ดังแสดงค่าการสะท้อนในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงสภาพสะท้อนความร้อน(Reflectivity) ของวัสดุต่างๆที่มีทั้งการทาสีผิววัสดุ และวัสดุที่เป็นสีธรรมชาติ

| สี        | การสะท้อน(%Total incident Heat Reflected) |
|-----------|-------------------------------------------|
| ขาว       | 75                                        |
| ครีม      | 65                                        |
| เขียวอ่อน | 50                                        |
| แดง       | 26                                        |
| เทา       | 25                                        |
| ดำ        | 7                                         |

## 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน และช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่าน (U- and Time Lag Values)

ตรึงใจ บุรณสมภพ(2539) กล่าวว่า วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนต่ำ ซึ่งใช้เป็นฉนวนกันความร้อน มักจะมีน้ำหนักเบา แต่วัสดุที่มีค่าของช่วงเวลาที่ความร้อนไหลผ่านจากผิวด้านนอกสู่ผิวด้านใน(Time Lag) สูง จะเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นและมีน้ำหนักมาก ถ้าต้องการให้ความร้อนไหลผ่านเข้าอาคารได้ช้า จะต้องใช้ผนังหรือหลังคาที่หนา แต่ต้องระวังความร้อนที่เก็บสะสมไว้ในวัสดุ ถ้าเลือกวัสดุที่มีมวลและความจุความร้อนสูง วัสดุจะเก็บความร้อนไว้ในเวลากลางวัน(ในส่วนของโดนแดด) และแผ่รังสีความร้อนอยู่ภายในอาคารในเวลากลางคืนที่อากาศเย็นลง ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าภายนอก จึงต้องมีลมภายนอกอาคาร และมีการระบายอากาศภายในอาคารที่เพียงพอเพื่อพาความร้อนออกไปจากวัสดุและภายในห้อง สำหรับค่าช่วงเวลาการหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุแสดงดังในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าช่วงเวลาการหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ

| วัสดุ               | ความหนา(นิ้ว) | U-value ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) | Time-lag  |
|---------------------|---------------|------------------------------------|-----------|
| อิฐ                 | 4             | 0.61                               | 2.5 hours |
|                     | 8             | 0.41                               | 5.5 hours |
|                     | 12            | 0.31                               | 8.5 hours |
| คอนกรีต             | 4             | 0.85                               | 2.5 hours |
|                     | 8             | 0.67                               | 5 hours   |
|                     | 12            | 0.55                               | 8 hours   |
| แผ่นฉนวนกันความร้อน | 2             | 0.16                               | 40 min.   |
| ไม้                 | 4             | 0.09                               | 3 hours   |
|                     | $\frac{1}{2}$ | 0.68                               | 10 min.   |
|                     | 1             | 0.47                               | 25 min.   |
|                     | 2             | 0.30                               | 1 hours   |

## 2.5 โปรแกรม OTTV RTTV

เนื่องจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ.2535 ได้กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร(OTTV) และการถ่ายเทความร้อนของหลังคา(RTTV) ซึ่งเป็นการคำนวณค่าOTTV/RTTV มีวิธีการและขั้นตอนค่อนข้างยุ่งยาก จำเป็นต้องมีการใช้โปรแกรม

คอมพิวเตอร์ช่วยเพิ่มความเร็วในการคำนวณ สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พัฒนาโปรแกรมการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารและการใช้พลังงานภายในอาคาร (Overall Thermal Transfer Value and Energy Estimation : OTTVEE) เพื่อให้สามารถคำนวณ ค่า OTTV และ RTTV รวมทั้งประเมินการใช้พลังงานในอาคารที่บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้ง่าย ได้ผลการวิเคราะห์ในเวลาอันรวดเร็ว และสามารถทำความเข้าใจการประเมินผลของโปรแกรมได้ง่าย



รูปที่ 2.2 โปรแกรม OTTV และ RTTV

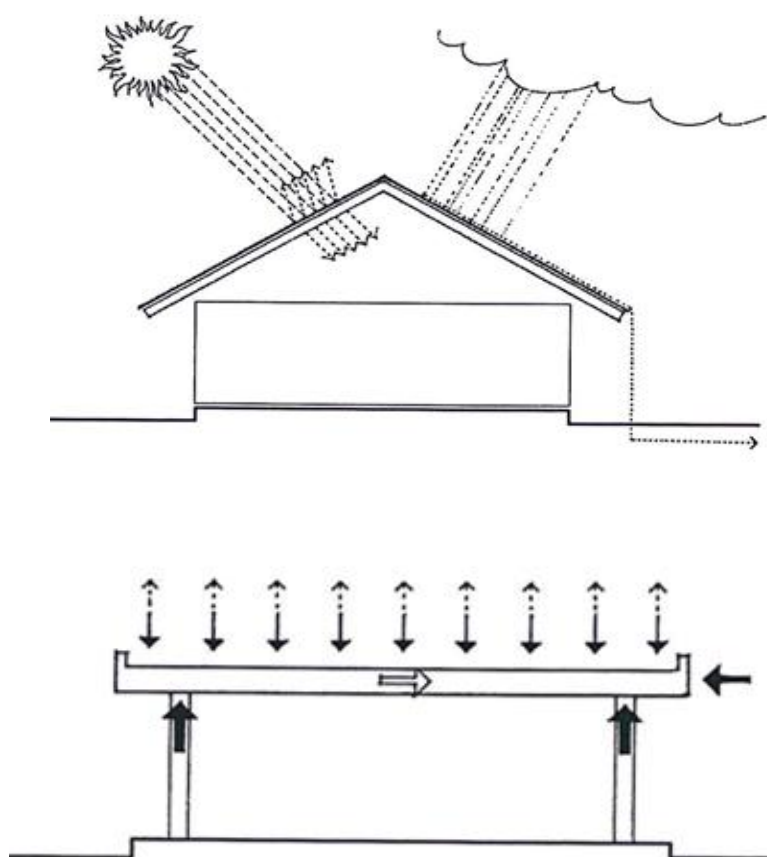
ที่มา [www.eei-ku.com/file\\_upload/08-Intelligent-26042010-035805.pdf](http://www.eei-ku.com/file_upload/08-Intelligent-26042010-035805.pdf)

## 2.6 หลังคา

หลังคาทำหน้าที่เป็นองค์อาคารที่สำคัญของอาคารในการกำบังและปกป้องพื้นที่ภายในอาคารจากน้ำฝน ลม และหิมะ ตลอดจนการนำพาน้ำฝนลงสู่รางน้ำฝน และควบคุมความชื้น อุณหภูมิ แสงแดด ด้วยการออกแบบรูปร่างและความลาดชันให้เหมาะสมกับสภาพอากาศ ชนิดของหลังคา และข้อกำหนดของกฎหมายเรื่องหลังคา ซึ่งในบางกรณีต้องการให้หลังคาเป็นองค์อาคารประเภททนไฟ มิให้ไฟไหม้ลุกลามออกไปภายนอกด้านบน

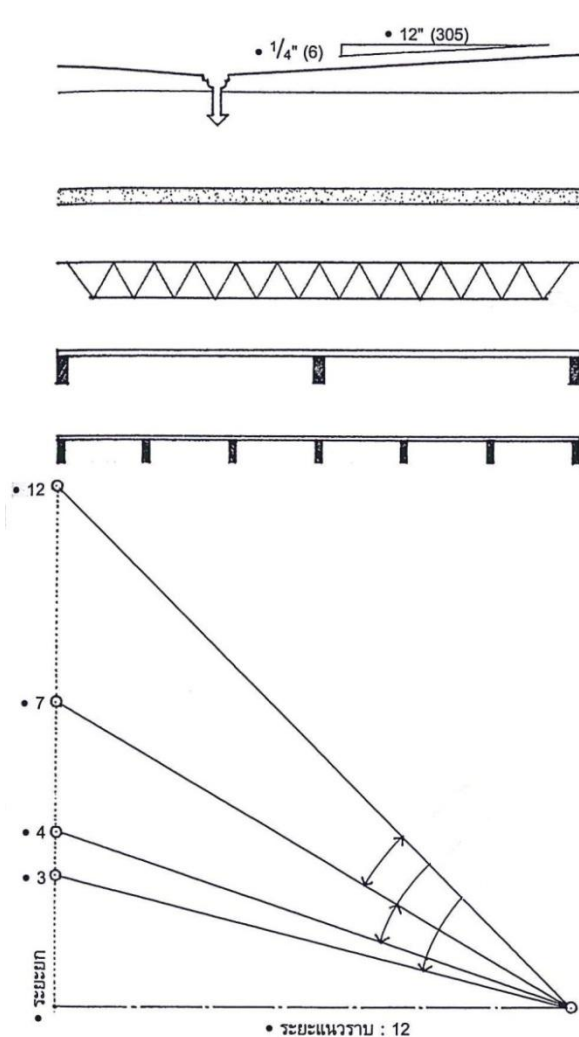
สำหรับการพาด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของหลังคาโครงสร้างหลังคาจะต้องมีการออกแบบให้สามารถรองรับน้ำหนักของตัวเองและอุปกรณ์ที่จะนำมาแขวนติด ตลอดจนน้ำหนักของน้ำฝนหรือหิมะที่อาจจะสะสมหนาขึ้น หรือน้ำหนักของผู้คน ถ้าออกแบบให้ผู้คนขึ้นไปใช้พื้นที่บนหลังคา นอกจากนี้น้ำหนักแบบทรงราบยังต้องพิจารณาน้ำหนักบรรทุกทุกจุดที่เพิ่มขึ้นด้วย ในหลายกรณีที่วิศวกรออกแบบจะต้องคำนึงถึงแรงกระทำด้านข้างเพิ่มขึ้นด้วย เช่น แรงลม แรงกระทำจากแผ่นดินไหว ตลอดจนแรงยกตัว ก่อนที่จะถ่ายทอดแรงกระทำทั้งหมดลงสู่โครงสร้าง เนื่องจากการถ่ายเทน้ำหนักจะเริ่มจากชั้นของหลังคาลงสู่ชั้นที่ถัดไปด้านล่างเรื่อยๆ ดังนั้นการจัดวางตำแหน่งของเสาและผนังรับแรงเพื่อรองรับน้ำหนักควรมีการพิจารณาอย่างรอบคอบและสอดคล้องกันระหว่างชั้น หรืออีกนัยหนึ่ง คือ รูปแบบและตำแหน่งของจุดรองรับหรือเสาควรสอดคล้องกับหลังคา รวมทั้งมีผลต่อชั้นใต้หลังคา การจัดวางห้อง และพื้นที่ภายในห้อง โครงหลังคาที่มีช่วงพาดยาวจะทำให้เกิดเสารองรับน้อย และมีผลกระทบน้อยกว่าโครงหลังคาที่มีช่วงพาดสั้น

รูปร่างของโครงสร้างหลังคาไม่ว่าจะเป็นแบบราบ(flat)แบบลาด(pitched)แบบปั้นหย้า(hipped)แบบยื่น(broad and sheltering)จะมีผลต่อรูปลักษณะของอาคารอย่างมากคือทำให้มีแนวชายคาในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ปลายขอบพอดีกับผนัง ยื่นออกจากผนัง หรือถูกปิดบังด้วยแผงกั้น(parapet)อีกทั้งอาจใช้รูปร่างของโครงสร้างหลังคาด้านล่าง ซึ่งจะปรากฏอยู่ด้านบนของชั้นใต้หลังคา



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงตัวอย่างโครงสร้างหลังคา

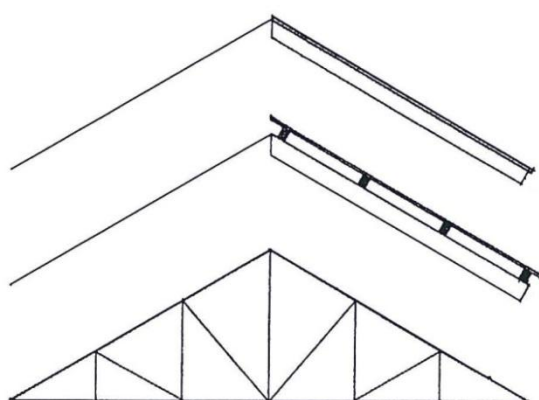
### หลังคาแบบราบ(Flat Roofs)



- ต้องมีวัสดุปูกันซึม(membrane roofing mater material) ต่อเนื่องตลอด
- ความลาดชันต่ำสุด :  $\frac{1}{4}$  in/ft (1:50)
- การทำให้เกิดการลาดเอียง สามารถทำได้โดยการทำให้โครงสร้างหลังคาเอียง หรือการปรับความหนาของวัสดุจนวนกันความร้อน
- โดยทั่วไปแนวลาดเอียงจะเอียงเข้าหาที่ระบายน้ำภายใน ส่วนที่ระบายน้ำรอบอาคารจะมีไว้สำหรับกรณีน้ำล้น
- หลังคาแบบราบจะคลุมอาคารได้ทุกรูปแบบ และยังสามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของหลังคาในการทำกิจกรรมต่างๆ
- โครงสร้างหลังคาแบบราบ อาจจะประกอบขึ้นจาก :
  - พื้นหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก
  - โครงถักไม้หรือเหล็กหลังราบ
  - คานไม้หรือเหล็ก และพื้นดาดฟ้า
  - ตงไม้หรือเหล็ก และแผ่นปิดหลังคา(sheathing)

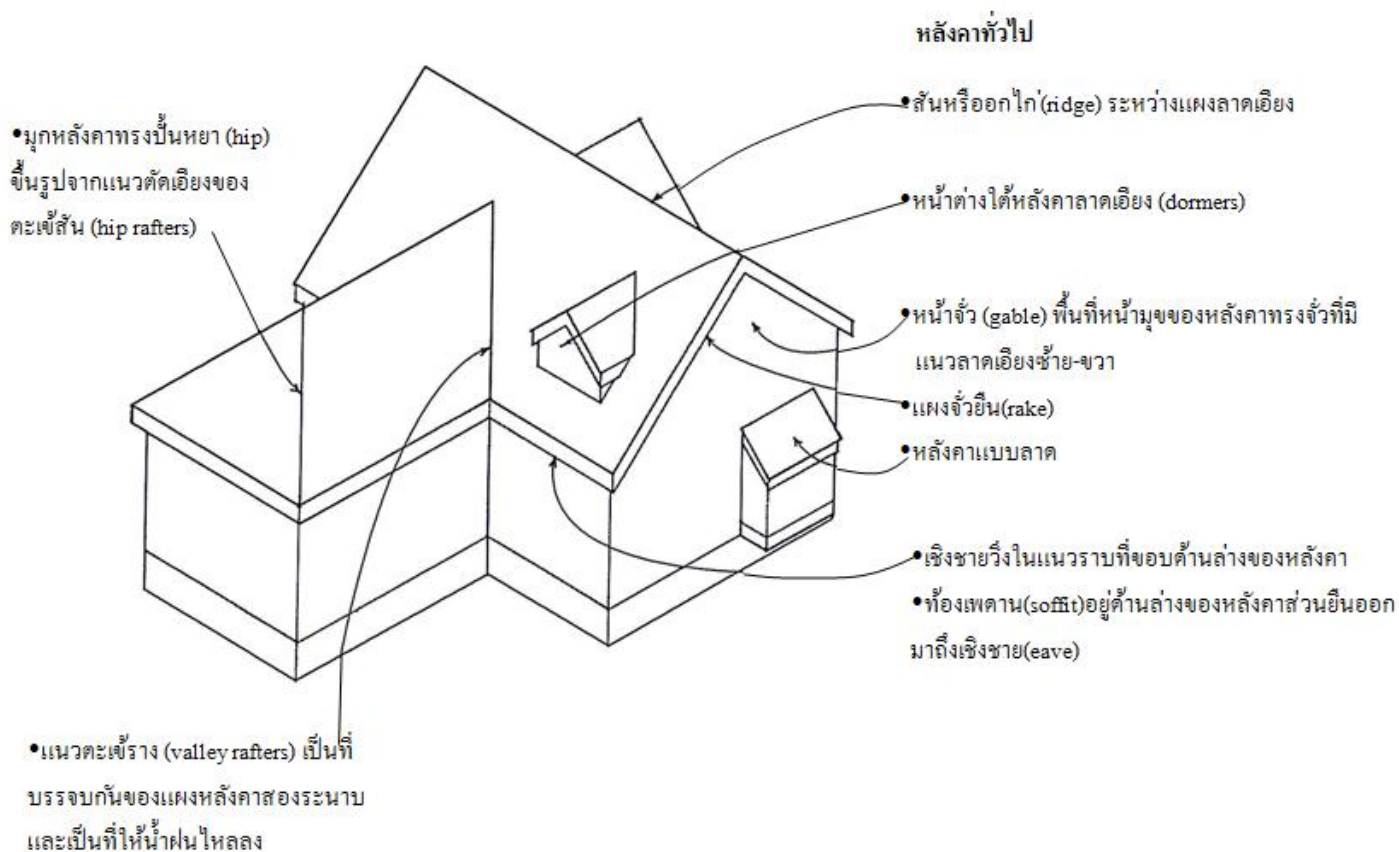
### หลังคาแบบมีความลาดชัน (Sloping Roofs)

- หลังคาแบบมีความลาดชัน อาจแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้
  - ความลาดชันต่ำไม่เกิน 3 : 12
  - ความลาดชันมาก อาจอยู่ระหว่าง 4 : 12-12 : 12
- อัตราความลาดชันจะมีผลต่อการเลือกใช้วัสดุปูหลังคา ชั้นรองพื้นวัสดุปูหลังคา เเชิงราย และโครงสร้างหลังคาเองเมื่อต้องรับแรงลม
- หลังคาแบบมีความลาดชันต่ำ ควรทำการกันน้ำซึมเพิ่มเติมเนื่องจากน้ำฝนไม่สามารถไหลออกจากหลังคาได้อย่างรวดเร็วแผ่นมุงหลังคาแผ่นเล็ก (shingles) และแผ่นใหญ่(sheet materials) อาจยังใช้ได้กับความลาด 3 : 12
- หลังคาแบบมีความลาดชันปานกลางและมาก อาจสามารถใช้วัสดุมุงหลังคาแบบกระเบื้องมุงหลังคา แผ่นมุงแผ่นเล็กและใหญ่
- หลังคาแบบมีความลาดชันจะระบายน้ำฝนลงสู่รางน้ำฝนที่เชิงชายได้เร็ว
- ความสูงและพื้นที่หลังคาจะแปรผันตามระยะในแนวราบ
- พื้นที่ใต้หลังคาอาจสามารถนำมาใช้สอยได้
- แนวลาดเอียงต่างๆ ของหลังคา อาจมีการออกแบบให้อยู่รวมกันทำให้เกิดเป็นรูปแบบของหลังคาที่มีแนวหลังคาซ้อนหรือเป็นมุขต่างๆ
- โครงสร้างของหลังคาแบบมีความลาดชัน อาจประกอบด้วย :



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงโครงสร้างหลังคา

- จันทันไม้หรือเหล็ก และแผ่นปิดหลังคา
- คาน แป และแผ่นพื้นหลังคา
- โครงถักไม้หรือเหล็ก



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงส่วนประกอบของหลังคา